埃玛菌素对小菜蛾幼虫的毒力及其对子代种群增长的影响

李慧冬, 郑方强, 罗万春*
(山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018)

摘要: 研究了不同温度下埃玛菌素(emamectin)对小菜蛾 *Plutella xylostella* 幼虫的毒力,并用生命表法研究了25℃下埃玛菌素亚致死剂量(LC_{30})处理小菜蛾3龄初期幼虫后对其子代的影响。结果表明,埃玛菌素为典型的正温度系数药剂,对小菜蛾幼虫的触杀毒力在温度16~31℃间提高了10倍左右,口服毒力在相同温度范围内提高1 000倍左右,显示了埃玛菌素对该虫极高的口服毒力。25℃下埃玛菌素亚致死剂量处理当代幼虫后,对其子代的存活和繁殖均有明显影响,处理组和对照组子代的世代存活率分别为3.7%和35.5%,平均产卵量分别为92.4和148.3,种群趋势指数分别为1.8和27.4,净增殖率(R_0)分别为3.66和33.81,内禀增长力(r_m)分别为0.0665和0.0978。

关键词: 小菜蛾; 埃玛菌素; 温度效应; 亚致死剂量; 生命表; 种群趋势
中图分类号: Q965.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2004)02-0193-05

Toxicity of emamectin to the diamondback moth, *Plutella xylostella*, and the effects on survivors of parent generation treated with sub-lethal dosage

LI Hui-Dong, ZHENG Fang-Qiang, LUO Wan-Chun* (College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract: Toxicity of emamectin to larvae of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, at different temperatures was surveyed, and the effects on survivors of parent generation treated with sub-lethal dosage of the insecticide at 25℃ were studied with life table method. The results showed that the toxicity of emamectin against the insect was increased as the temperature was enhanced in the temperature range tested: the contact toxicity of the insecticide was increased by about 10-fold, and the ingestion toxicity by about 1 000-fold when the temperature was enhanced from 16℃ to 31℃. Emamectin showed an extremely high ingestion toxicity. The life table was established after the insect was treated with the insecticide in sub-lethal dosage. The insecticide had some adverse effects on the survival and reproduction of the insect. The life parameters of the treated population were lower compared with the control population: the survival rate was 3.7% and 35.5% in the treated population and in the control, respectively; the fecundity 92.4 and 148.3; the index of population trend 1.8 and 27.4; the net reproductive rate (R_0) 3.66 and 33.81; and the innate capacity for increase (r_m) 0.0665 and 0.0978, respectively.

Key words: *Plutella xylostella*; emamectin; temperature effect; sub-lethal dosage; life table; population trend

阿维菌素类(avermectins)是由日本北里大学大村智等和美国 Merck 公司首先开发的一类具有杀虫、杀螨、杀线虫活性的十六元大环内酯化合物,由链霉菌中灰色链霉菌 *Streptomyces avermitilis* 发酵产生(Scott and Duce, 1985; Abalis and Eldefrawi, 1986; Kornis, 1995)。阿维菌素是一种新型抗生素类,具有结构新颖、农畜两用的特点。随着人们生活水平的提高以及对绿色食品的呼唤,生物农药或生物源农药在当前农药市场中倍受青睐,权威人士预测21世纪的农药将是生物农药的世纪。据报道欧洲生物农药将从1997年1亿美元的销售额上升到2004年的1.69亿美元。埃玛菌素(emamectin)是在阿维菌素

基金项目: 山东省科技厅基金资助项目(981020704)
作者简介: 李慧冬, 女, 1977年生, 山东荷泽人, 硕士, 现在农业部食品质量监督检验测试中心(济南)从事环境友好农药及农药残留分析研究, E-mail: lihuidong8066@sina.com
* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: wcluo@sdau.edu.cn
收稿日期 Received: 2003-01-08; 接受日期 Accepted: 2003-10-29

的基础上，经五步合成后获得的衍生物。其制剂苯甲酸盐具有很好的稳定性与水溶性，对鳞翅目害虫表现出了极高的活性（沈寅初和杨慧心，1994；White *et al*.，1997；Jansson *et al*.，1999；罗万春，2002；毕富春和赵建平，2003）。为了明确埃玛菌素某些生态毒理学特点，我们通过一系列的温度设置，探讨了该化合物对小菜蛾 *Plutella xylostella* 幼虫毒力的温度效应，同时研究了该化合物的亚致死剂量对试虫生命活动的影响，旨在明确该化合物毒力发挥与环境因素的关系，为其科学应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试虫小菜蛾采用改良的蛭石油菜苗法继代饲养（刘传秀等，1993）。80% 埃玛菌素原药由京博农用化学有限公司提供。

1.2 毒力测定方法

1.2.1 触杀毒力测定：采用联合国粮农组织推荐的点滴法（FAO，1980）。具体作法：将供试药剂用丙酮与水按 4∶1 的比例混合作为稀释液，药剂经预试后稀释成 6 个浓度梯度（10^{-3} μg/g～40 μg/g），取用乙醚轻微麻醉生理状态一致的 3 龄初期幼虫，用微量点滴器将 0.25 μL 的药液点滴于虫体的前胸背板，对照只点滴等量的稀释液（即丙酮∶水 = 4∶1）。每浓度重复 3 次，每次处理用 20 头幼虫。处理后的幼虫饲以从未施用过任何杀虫剂的新鲜油菜叶片，然后将其置于设定温度的光照培养箱内，相对湿度为 60%～70%，72 h 检查结果。计算虫口死亡率和校正死亡率，按机率-回归值分析法求出回归方程式并计算 LD_{50} 值。

1.2.2 口服毒力测定：采用药膜法（赵建周和剧正理，1993）测定口服毒力作用。具体作法：采集新鲜油菜叶片，在先用丙酮溶解再用自来水稀释经预试后的系列浓度药液（10^{-7} μg/g～20 μg/g 之间）中浸渍 5 s，室内晾干后放入养虫盒内，再放入大小一致的 3 龄幼虫，每浓度重复 3 次，每次处理用 20 头幼虫，以清水浸渍油菜叶片作对照。处理后的幼虫置于设定温度的光照培养箱内，相对湿度为 60%～70%，检查和统计方法同上。

1.3 生命表的组建

参照庞雄飞和梁广文（1995）及吴坤君等（1978）所描述的方法进行生命表的组建。小菜蛾属于完全变态昆虫，其卵、幼虫、蛹和成虫容易根据外部形态特征加以区别，在调查时每天分别记录。具体作法：随机采集用药剂亚致死剂量处理 3 龄幼虫后的存活者并完成发育的成虫所产的卵 400 粒，置于养虫缸中，将此养虫缸置于温度为（25 ± 1）℃，相对湿度为 60%～70%，光周期为 14L∶10D 的养虫室内，每日饲以新鲜油菜叶片，逐日记录各处理的存活个体数。同时观察记录相同数目的对照试虫。

种群净增殖率（R_0）、世代平均周期（T）、内禀增长力（r_m）、周限增长率（λ）、种群加倍时间（t）和种群趋势指数（I）均按徐汝梅（1987）描述的方法计算，公式如下：

$$R_0 = \sum l_x m_x;\ T = \sum l_x m_x x / R_0;\ r_m = \ln R_0 / T;$$
$$\lambda = \exp(r_m);\ t = \ln 2 / r_m;\ I = N_{n+1} / N_n$$

其中，l_x 表示特定年龄起始存活数；m_x 表示特定年龄生育力；x 表示年龄（天）；N_n 表示上一代种群数量；N_{n+1} 表示下一代种群数量。

1.4 繁殖力测定

随机取同日羽化的成虫配对，观察 75 对成虫，将每对成虫置于养虫瓶中（高 12 cm，直径 10 cm），罩以纱布，并饲喂 5% 蜂蜜水，放置于温度为（25 ± 1）℃，相对湿度为 60%～70%，光周期为 14L∶10D 的养虫室内饲养。然后逐日用甘蓝叶片收集所产的卵，记录产卵量，每日更新甘蓝叶片，直至雌蛾死亡。并以室内饲养未施用任何药剂处理的小菜蛾做同样处理，作为对照记录产卵量。

2 结果与分析

2.1 埃玛菌素在不同温度下对小菜蛾幼虫的触杀毒力和口服毒力

埃玛菌素在不同温度下对小菜蛾幼虫的触杀毒力和口服毒力测定结果见表 1。由表 1 可知，埃玛菌素对小菜蛾 3 龄初期幼虫的触杀毒力和口服毒力在一定范围内都符合正温度系数效应，即随温度的升高而升高。埃玛菌素的触杀毒力在 16～31℃ 范围内增加了 10 倍左右，而其口服毒力在 16～31℃ 范围内变化巨大，其间竟相差近千倍。

由上述结果可知，埃玛菌素对小菜蛾幼虫的口服毒力远远强于其触杀毒力，毒力随温度变化的情况也是如此，且其毒力发挥的最好温度为 25℃ 或以上。

表 1　不同温度下埃玛菌素对小菜蛾 3 龄幼虫的触杀毒力和口服毒力(72 h)

Table 1　Toxicity of emamectin to the 3rd instar larvae of *Plutella xylostella* for 72 h at different temperatures

温度(℃) Temperatures	毒力回归式 Toxic equations	相关系数 r	致死中浓度及 95%置信限 LC_{50}(μg/mL),95%CL
触杀毒力 Contact toxicity			
16	$y=3.8124+1.5143x$	0.99($P<0.01$)	1.01(0.75～0.36)
19	$y=4.0505+1.5110x$	0.99($P<0.01$)	0.71(0.53～0.94)
22	$y=4.5385+1.3238x$	0.97($P<0.01$)	0.37(0.27～0.51)
25	$y=6.0972+2.2625x$	0.99($P<0.01$)	0.33(0.27～0.40)
28	$y=4.6790+2.5804x$	0.95($P<0.01$)	0.22(0.19～0.26)
31	$y=5.2022+1.3438x$	0.94($P<0.01$)	0.12(0.09～0.16)
口服毒力 Oral toxicity			
16	$y=6.0022+1.0088x$	0.96($P<0.01$)	0.05(0.03～0.08)
19	$y=7.5837+1.4890x$	0.98($P<0.01$)	0.02(0.01～0.03)
22	$y=7.2449+1.1373x$	0.92($P<0.01$)	0.01(0.01～0.02)
25	$y=9.1246+0.9425x$	0.98($P<0.01$)	4.20×10^{-5}(2.66×10^{-5}～7.03×10^{-5})
28	$y=12.9656+1.4832x$	0.96($P<0.01$)	4.00×10^{-6}(3×10^{-6}～6×10^{-6})
31	$y=13.3415+1.5429x$	0.95($P<0.01$)	3.89×10^{-5}(3×10^{-6}～5×10^{-6})

2.2　亚致死剂量的确定

由埃玛菌素在 25℃下的口服毒力回归方程 $y=9.1246+0.9425x$(表 1),求出该药剂对 3 龄小菜蛾幼虫的亚致死剂量 LC_{30}为 3.17×10^{7} μg/g。

2.3　埃玛菌素亚致死剂量处理小菜蛾幼虫后对子代生长的影响

25℃下埃玛菌素亚致死剂量处理小菜蛾后对子代生长的影响见表 2 和表 3。用埃玛菌素亚致死剂量(LC_{30})处理试虫后子代未成熟期的存活数远小于对照组的存活数。从开始虫态(卵)到结束虫态(成虫)之间的死亡率可以看出,处理种群蛹期死亡率最高,为 58.5%,其次为卵和各龄幼虫;而未经药剂处理的对照蛹的自然死亡率仅为 13.8%,卵期更低,以低龄幼虫为高。处理组子代的平均产卵量与对照相比也有明显降低(表 2)。这些结果显示出经埃玛菌素亚致死剂量处理后的“后续效应”。

埃玛菌素亚致死剂量处理小菜蛾 3 龄幼虫后存活者子代和对照的种群都有增长的趋势,但对照组净增殖率比处理组者大得多。经埃玛菌素亚致死剂量处理后子代小菜蛾的内禀增长力、周限增长率和世代平均周期都比对照显著降低和缩短(表 3)。

表 2　埃玛菌素亚致死剂量(LC_{30})处理小菜蛾 3 龄幼虫后子代的生命表

Table 2　Life table of *Plutella xylostella* from survivors of parent generation treated with sub-lethal dosage of emamectin (LC_{30})

发育期 Stages	处理组 Treated group			对照 Control		
	l_x	d_x	$100q_x$	l_x	d_x	$100q_x$
卵 Egg	1 000	420	42.0	1 000	95	9.5
1 龄 1st instar larva	580	200	34.5	905	302	33.4
2 龄 2nd instar larva	380	120	31.6	603	115	19.1
3 龄 3rd instar larva	260	87.5	33.7	488	40	8.2
4 龄 4th instar larva	172.5	70	40.6	448	30	6.7
蛹 Pupa	102.5	60	58.5	418	57.7	13.8
成虫 Adult	42.5	5	11.8	360.3	5	1.4
雌蛾 Female moth 性比(♀:♂=48:52)	19.5	—	—	184.8	—	—
产卵量 Fecundity	92.4±38.0			148.3±32.6		
总卵量 Total egg amount	1 801.8			27 405.8		
种群趋势指数 Index of population trend	1.8			27.4		

表 3 埃玛菌素亚致死剂量(LC_{30})处理小菜蛾 3 龄幼虫后子代的种群参数

Table 3 Population parameters of *Plutella xylostella* from survivors of parent generation treated with sub-lethal dosage of emamectin (LC_{30})

种群参数 Population parameters	处理组 Treated group	对照 Control
净增殖率 R_0	3.66	33.81
内禀增长力 r_m	0.0665	0.0978
周限增长率 λ	1.0688	1.1027
世代平均周期 T(d) Mean length of a generation	19.5	36.0
种群加倍时间 t(d) Population doubling time	10.4	7.1

3 讨论

埃玛菌素对小菜蛾的毒力在一定范围内随着温度升高而增加,即该化合物为典型的正温度系数药剂,特别是其口服毒力的增加大大高于触杀毒力的增加,表现出了极高的口服毒力。这个结果提示我们:(1)在不同季节不同温度下使用埃玛菌素时应注意剂量的变化,以减轻抗性选择压力及节约成本;(2)在喷雾使用时应做到喷洒均匀,特别注意喷洒害虫易取食的部位,如防治小菜蛾时应特别注意喷洒植物叶片的背面,因为小菜蛾幼虫喜欢在十字花科蔬菜叶片背面取食。

实验结果还表明,经埃玛菌素亚致死剂量处理小菜蛾 3 龄幼虫后,对其后代的生命活动如世代平均周期、平均产卵天数和平均产卵量以及 F_1 代各虫态的存活率等指标均有较明显的影响,为我们更加全面地认识这个药剂具有重要意义。

目前,除了产生"选择性抗性"外,对药剂使用后引起害虫的"后续效应"问题仍然知之甚少,特别对埃玛菌素亚致死剂量作用后在昆虫生命活动中发挥的"后续效应"尚未有专门报道。埃玛菌素是一个新颖的"生物源"杀虫剂,其作用机理不同于"常规"杀虫剂,它通过谷氨酸门控氯离子通道加强氯离子的传导性,从而刺激大量释放 γ-氨基丁酸,使中毒昆虫麻痹、瘫痪而死亡(罗万春,2002)。埃玛菌素对许多鳞翅目害虫有非常卓越的防治效果(毕富春和赵建平,2003),且由于其良好的生态选择性,可以被组合到任何作物的害虫综合治理系统中去(Jansson *et al.*, 1996)。另外,在害虫综合治理中,可以考虑埃玛菌素与其他杀虫剂的科学轮用与混用(闫艳春等,1997;莫建初等,1999)。对这样一个前途异常光明的"环境友好"农药进行多方面的探讨和研究是有必要的。对"口服毒力"极高的正温效关系,可在应用中给我们以科学指导;而使用该化合物后的"后续效应"结论,不但有应用上的意义,而且对其毒理学的进一步认识将会提供有益的参考。

参考文献(References)

Abalis IM, Eldefrawi AT, 1986. [^{3}H] muscimol binding to a putative GABA receptor in honeybee brain and its interaction with avermectin B_{1a}. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 25: 279 – 287.

Bi FC, Zhao JP, 2003. The outline of activities of emamectin benzoate against major insects of China. *Modern Agrochemicals*, 2(2): 19, 34 – 36. [毕富春,赵建平,2003. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对主要害虫的药效概述. 现代农药,2(2): 19,34 – 36]

FAO, 1980. FAO Plant Production and Protection Paper 21. Recommended Methods for Measurement of Pest Resistance to Pesticides. 25 – 28.

Jansson RK, Peterson RF, Halliday WR, Mookerjee PK, Dybas RA, 1996. Efficacy of solid formulation of emamectin bonzoate at controlling lepidopterous pests. *Fla. Entomol.*, 79: 434 – 449.

Kornis GI, 1995. Avermectins and Milbemycins. In: Godfrey CRA ed. Agrochemicals from Natural Products. New York: Marcel-Dekker. 215 – 255.

Liu CX, Han ZJ, Li FL, Chen ZH, 1993. Laboratory methods on artificial propagation of *Plutella xylostella* (L.) by vermiculite and radish seedling. *Entomological Knowledge*, 30(6): 341 – 344. [刘传秀,韩招久,李凤良,陈之浩,1993. 应用蛭石萝卜苗法室内继代大量繁殖小菜蛾的研究. 昆虫知识,30(6): 341 – 344]

Luo WC, 2002. The New Pesticides and Environment. Beijing: World Knowledge Press. 60 – 67. [罗万春,2002. 世界新农药与环境发展中的新型杀虫剂. 北京: 世界知识出版社. 60 – 67]

Mo JC, Zhuang PJ, Tang ZH, 1999. Influence of rotation and mixture treatments of two pesticides on the evolution of pest population resistance to pesticides. *Acta Entomol. Sin.*, 42(4): 337 – 346. [莫建初,庄佩君,唐振华,1999. 杀虫剂轮用和混用对害虫种群抗性演化的影响. 昆虫学报,42(4): 337 – 346]

Pang XF, Liang GW, 1995. The Control of Pest Population Systems. Guangzhou: Guangdong Science and Technique Press. 15 – 23. [庞雄飞,梁广文,1995. 害虫种群系统的控制. 广州: 广东科技出版社. 15 – 23]

Scott RH, Duce IR, 1985. Effects of 22, 23-dihydroavermectin B_{1a} on locust (*Schistocerca gregaria*) muscles may involve several sites of action. *Pestic. Sci.*, 16: 599 – 604.

Shen YC, Yang HX, 1994. The development and characteristics of avermectin. *Translated Collection of Pesticides*, 16(3): 1 – 13. [沈寅初,杨慧心,1994. 杀虫抗生素 Avermectin 的开发及特性. 农药译丛,16(3): 1 – 13]

White SM, Dunbar DM, Brown R, Cartwright B, Cox D, Eckel C, Jansson RK, Mookerjee PK, Norten JA, Peterson RF, Starner VR, 1997.

Emamectin benzoate: a novel avermectin derivative for control of lepidopterous pests in cotton. In: Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences，January 6 – 10，New Orleans，LA，USA. Volume 2. 1 078 – 1 082.

Wu KJ，Chen YP，Li MH，1978. Life tables for experimental populations of the cotton bollworm，*Heliothis armigera*（Hübner），at different temperature. *Acta Entomol. Sin.*，21(4)：385 – 392. [吴坤君，陈玉平，李明辉，1978. 不同温度下的棉铃虫实验种群生命表. 昆虫学报，21(4)：385 – 392]

Xu RM，1987. Population Ecology of Insect. Beijing: Beijing Normal University Press. 61 – 84. [徐汝梅，1987. 昆虫种群生态学. 北京：北京师范大学出版社. 61 – 84]

Yan YC，Qiao CL，Qian CF，1997. Advance in research for insecticide resistance of *Plutella xylostella*（L.）. *Entomological Knowledge*，34 (5)：310 – 314. [闫艳春，乔传令，钱传范，1997. 小菜蛾抗药性研究进展. 昆虫知识，34(5)：310 – 314]

Zhao JZ，Ju ZL，1993. The detection method of resistance for *Plutella xylostella* in the fields. *Proceedings of Agricultural Science*，1：253 – 256. [赵建周，剧正理，1993. 小菜蛾抗药性的田间检测方法. 农业科学集刊，1：253 – 256]

（责任编辑：黄玲巧）